

Anno XXXVII / Volume 37  
dal / since 1972

6

2008  
Novembre / Dicembre  
November / December



# elevatori



THE EUROPEAN ELEVATOR MAGAZINE

I.S.S.N. 1121-7995

Volpe Editore Srl - 20060 Vignate (MI, Italy) - Via Di Vittorio, 21A

(In Italia) Spedizione in a.p. 70% - Filiale di Milano

www.steelcolor.it



FORME D'ARTE URBANA O GIOIELLI DA VIVERE

STEEL COLOR ACCIAI CHE DANNO VITA AI SOGNI

*Steel*  
**Color** S.p.A.

Produttore e leader mondiale di acciai inox goffrati, colorati ed incisi.



Organo ufficiale  
Official gazette:  
**ANICA, EFESME & IAEE**

**Attualità / Topical subjects**

**European Lift Congress, Expo Brasil, NAEC 2008, & Lift 2008  
European Lift Congress, Expo Brasil, NAEC 2008, & Lift 2008**

**Tecnica / Techniques**

**Ascensori a basso consumo energetico  
Reduced energy consumption lifts**



## In copertina / Cover

Steel Color è produttore leader a livello mondiale di acciai inox lavorati. Il nostro catalogo è ricco della più vasta gamma di finiture superficiali su acciaio inox. Steel Color sviluppa proprie tecniche di lavorazione particolarmente accurate per la produzione di finiture sempre più nuove ed originali. Anche su disegni forniti da clienti. La nostra costante ricerca per il raggiungimento della Qualità Totale ci porta al continuo sviluppo nella produzione di acciaio inox elettrocolorato, rigidizzato, goffrato, decorato ed inciso.

Steel Color vuole essere la prima anche nell'anticipare i migliori auguri di Buone Feste e di un prospero 2009.

Steel Color is a leading-in industry manufacturer of machined stainless steel. Our catalogue offers a wide choice of stainless steel surface finishing. Steel Color develops accurate and special techniques for the manufacturing of new and original finishes.

Also available are customised drawings.

Our constant target is Full Quality in the manufacturing of electro-coloured, hardened, embossed, decorated and engraved stainless steel.

Steel Color wishes you best wishes for a wonderful 2009.

www.steelcolor.it - E-mail: info@steelcolor.it

I.S.S.N. 1121 - 7995



ORGANO UFFICIALE / OFFICIAL GAZETTE

Associazione Nazionale delle Industrie dei Componenti per Ascensori  
Italian National Association of Elevator Component Manufacturers



ORGANO UFFICIALE / OFFICIAL GAZETTE

Federazione europea delle associazioni nazionali di piccole e medie imprese  
European Federation for Elevator Small and Medium-sized Enterprises



ORGANO UFFICIALE / OFFICIAL GAZETTE

Associazione Internazionale Ingegneri Ascensoristi  
International Association of Elevator Engineers



O.I.T.A.F.

Rivista autorizzata alla pubblicazione, in lingua italiana, delle Comunicazioni Ufficiali dell'O.I.T.A.F. (Organizzazione Internazionale Trasporti a Funne)

Magazine authorised to publish, in Italian, the official notices of the O.I.T.A.F. (International Organisation for Transportation by Rope)



Associata all'U.S.P.I.  
(Unione Stampa Periodica Italiana)

A U.S.P.I. Member  
(Organisation of Italian Periodical Press)

## Edita da / Published by



**VOLPE EDITORE S.r.l.**  
20060 Vignate  
MILANO, ITALY  
Via Di Vittorio, 21A  
Tel +39 - 02 95360416  
Fax +39 - 02 95360418  
elemail@elevatori.it  
www.elevatori.it

Pubblicazione Registrata alla Cancelleria del Tribunale di Milano, n. 341 del 21.9.1972.

This publication is registered in the Record office at the Court of Milan, Italy under No. 341 dated 21.9.1972

© 2008 Tutti i diritti riservati.  
L'utilizzo anche parziale di quanto pubblicato in Elevatori deve essere autorizzato dall'Editore.

© 2008 All rights reserved.  
For permission to reprint any part of Elevatori contact the Publisher.

## Direttore Responsabile Chairman

Dott. Ing. Giuseppe Volpe

## Redattore Capo Editor-in-Chief

Dott. Ing. Giovanni Varisco

## Redattore Inglese English Editor

Dr-Eur. Ing. Gina C. Barney

## Responsabile Editoriale Editorial Manager

Fabio Liberali

## Responsabile Coordinamento Generale General Coordinator

Antonella Borrelli

## Responsabile P.R. e Promozione P.R. & Promotion Manager

Dott. Maria Volpe

## Responsabile Pubblicità Advertising Manager

Gabriele Villa

## Traduzioni Translations

Dott. Paola Grassi

## Grafica Graphic Design

Luca Belotti

Stampa  
Printed in Italy by:  
Litografia G.F. - Vaiano Cremasco (CR)

La pubblicità su questo fascicolo non supera il 70%.  
Advertising in this issue does not exceed 70%.

## Corrispondenti Rapporteurs

Dr L.R. Al-Sharif, London, UK  
W. Arnold, Leverkusen, Germany  
M. Bezzi, Trento, Italy  
D. Cooper, Eastbourne, UK  
Ing. B. Ciborra, Milan, Italy  
Ing. E. Fornasari, Naples, Italy  
Dr. Ing. C. E. Imrak, Istanbul, Turkey  
J. Inglis, Killara, Australia  
C. Anderson, Johannesburg, South Africa  
Dr L. Janovsky, Prague, Czech Republic  
Dott. Ing. G. La Noce, Milan, Italy  
A. Lustig, Tel Aviv, Israel  
Dr A.T.P. So, Hong Kong, China  
Ing. M. Volpe, Milan, Italy  
L. Zhang, Langfang, China

## Sommario Contents

### Editoriale Editorial

- 4 **Lift 2008**  
G. Varisco

### Attualità Topical subjects

- 6 **Nuove leggi: sicurezza di lavoratori e impianti**  
**New laws: workers and installations safety**  
S. Migliavacca & G. Varisco
- 13 **3° European Lift Congress**  
**3rd European Lift Congress**  
B. Ciborra
- 22 **NORMAPME: nell'interesse delle piccole e medie imprese**  
**NORMAPME: in the interest of small and medium companies**  
S. Toffaletti
- 28 **Expo Elevator Brazil 2008**  
M. Bezzi & F. Liberali
- 36 **59ª Assemblea & Expo NAEC**  
**59th NAEC Convention & Expo**  
F. Liberali
- 44 **Lift 2008: un'edizione ricca di spunti**  
**Lift 2008: an edition packed with ideas**  
P. Mastromo
- 48 **Passaggio generazionale nelle PMI - 2ª parte**  
**Generational transition in lift SMEs - Part 2**  
A. Ferrando

### Tecnica Techniques

- 56 **Ascensori a basso consumo energetico**  
**Reduced energy consumption lifts**  
G. Barney
- 70 **Metodi per migliorare le scale mobili**  
**Methods for improving escalators**  
J. M. Cabanellas Becerra, J. D. Cano Moreno, B. Suárez, J.A.Chover & J. Félez
- 90 **Sviluppo di un'unità mozzo ruota per ascensore**  
**Development of wheel hub unit for lifts**  
D. Pandolfo & J. Pommereul
- 96 **Teoria e Pratica - L'ascensore, l'ingegnere e lo psicologo**  
**Education & Training - The lift, the engineer and the psychologist**  
B. Ciborra
- 100 **Teoria e Pratica - L'ascensore ad acqua di Tyntensfield House**  
**Education & Training - The Tyntensfield House water lift**  
D. Cooper

# Metodi per migliorare le scale mobili

# Methods for improving escalators

Jose M<sup>a</sup>. Cabanellas Becerra, Juan D. Cano Moreno, Berta Suárez, J.A.Chover & Jesús Féliz

Universidad Politécnica de Madrid Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, Spagna / Spain

## SOMMARIO

In questo documento sono presentati vari metodi di ricerca per migliorare la progettazione delle scale mobili. Le scale mobili sono state inventate più di un secolo fa. Da allora, sono state sviluppate diverse funzionalità, tuttavia la maggior parte di esse non ha apportato nessun chiaro vantaggio rispetto al dispositivo convenzionale. Questo meccanismo sta diventando un prodotto "di base". CITEF sta utilizzando degli strumenti per simulare ed analizzare il comportamento statico, cinematico e dinamico di questo sistema multicorpo. Abbiamo utilizzato i software MATLAB, CATIA e SIMPACK. Inoltre, è stato sviluppato un modello di previsione della durata basato su risultati dinamici.

Parole chiave: scale mobili, SIMPACK, Catia, dinamica dei sistemi multicorpo, poligonazione.

## 1. INTRODUZIONE

Il design basilare delle scale mobili è stato utilizzato per più di un secolo senza nessuna modifica sostanziale (Cabanellas et al. 2008). Il primo brevetto è stato ottenuto nel 1859 da Nathan Ames per una scala girevole a forma di triangolo equilatero. Questo modello è stato il primo concetto per un simile meccanismo di sollevamento. La scala mobile moderna proviene da invenzioni che hanno più di cento anni (Strakosch 1983), ed il suo disegno di base non è cambiato. Fino ad oggi, il progetto meccanico è stato portato avanti in forma sperimentale; quindi, sottoporre a prova qualunque modifica è stato costoso sia in termini di tempo che di denaro.

Per ridurre i costi ed i tempi sperimentali è necessario simulare il comportamento cinematico e dinamico utilizzando un software dinamico multicorpo. L'uso di questi tipi di strumenti permetterà un risparmio di tempo dato che la scala mobile non dovrà essere costruita. Inoltre, il modello potrà essere sensorizzato e sottoposto a prova in modo semplice. Tale risparmio di tempo è molto importante nella ricerca e nella progettazione di un meccanismo che sta diventando un prodotto di base. Esistono alcuni modelli (Kwon 1998 e Kwon et al. 2005) che sono stati sviluppati con successo con software di simulazione. Inoltre, CITEF sta cercando di introdurre delle innovazioni e nuovi concept per le scale mobili. Alcune società stanno anche

## ABSTRACT

This paper presents several methods to search for improvements in escalator design. Escalators were invented more than a century ago. During this time several features have been developed although most of them have not shown any clear advantage over the conventional device. This mechanism is becoming a "commodity" product.

CITEF is using tools to simulate and to analyze the static, kinematic and dynamic behaviour of this multibody system. We have used MATLAB, CATIA and SIMPACK software. In addition, a life prediction model based on dynamic results has been developed.

Key words: escalators, SIMPACK, Catia, multibody dynamics, polygonization.

## 1. INTRODUCTION

The basic design of escalators has been in use for more than a century without any significant changes (Cabanellas et al. 2008). The first patent was taken out in 1859 by Nathan Ames for a revolving stairway in the form of an equilateral triangle. This design was the first idea for such a lifting mechanism.

The modern escalator comes from inventions which are more than one hundred years old (Strakosch 1983), and its basic design has not changed. Up to now, the mechanical design has been carried out in an experimental form; therefore, testing any changes is costly both in terms of time and money.

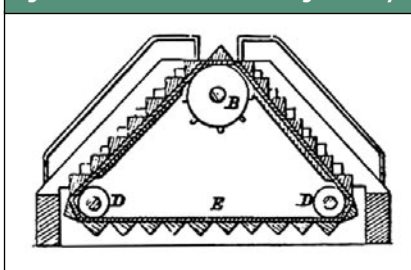
The way to reduce the experimental cost and time consists in simulating the kinematic and dynamic behaviour using multibody dynamic software.

The use of these kinds of tools will allow time to be saved because the escalator does not need to be built. In addition, the model can be sensorized and tested in an easy way.

This time-saving is very important in the research and design concerning a mechanism that is becoming a commodity product. There are some models (Kwon 1998 and Kwon et al. 2005) which have been successfully developed by simulation software.

On the other hand, CITEF is seeking to develop innovations and new concepts in escalators. Some companies are developing

Figura 1 - Scala girevole di Nathan Ames  
Figure 1 - Nathan Ames revolving stairway



sviluppando delle migliorie, ma ci sono poche innovazioni sostanziali. Un esempio d'innovazione sostanziale è l'idea di sviluppare una scala mobile con velocità variabile (Ogura et Haruta 2002 e Miravete et Larrodé 2007).

In questo documento, sono mostrati e descritti alcuni modelli che permettono di valutare le caratteristiche cinematiche e dinamiche di una scala mobile.

## 2. MODELLI SVILUPPATI

### 2.1 Modello dinamico

#### 2.1.1 Introduzione

Per realizzare i modelli dinamici, abbiamo usato un software d'analisi multicorpo polivalente.

In questo caso, il software selezionato è stato SIMPACK.

Per analizzare il comportamento dinamico di un sistema multicorpo con questo programma, è stato innanzitutto necessario definire il problema e poi dividere il sistema nei suoi componenti meccanici di base, quali corpi, giunti ed elementi di forza.

improvements too, but there are few drastic innovations.

An example of a drastic innovation is the idea to develop an escalator with variable speed (Ogura et Haruta 2002 and Miravete et Larrodé 2007).

In this paper, some models are shown and described, which let the kinematic and dynamic characteristics of an escalator be evaluated.

## 2. DEVELOPED MODELS

### 2.1 Dynamic model

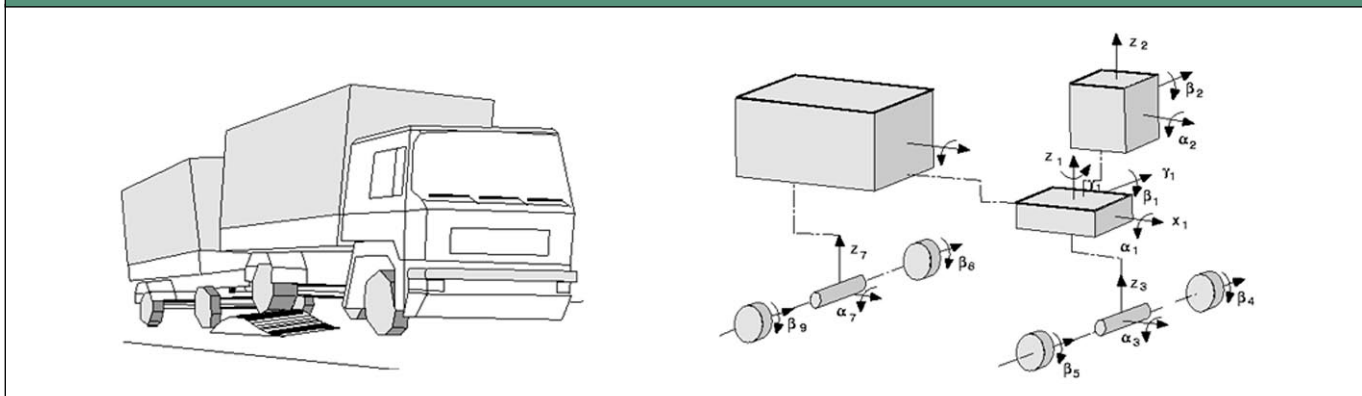
#### 2.1.1 Introduction

To make the dynamic models, we have used general-purpose multibody analysis software.

In this case, the software selected was SIMPACK.

To analyse the dynamic behaviour of a multibody system with this program, firstly the problem must be defined and then the system divided into its basic mechanical components, like bodies, joints and force elements.

Figura 2 - Processo di modellamento con software di simulazione SIMPACK  
Figure 2 - Modelling process with SIMPACK simulation software



Successivamente, sono stati definiti i valori dei parametri del modello:

- massa, momenti d'inerzia e posizioni dei baricentri;
- punti d'assemblaggio tra elementi adiacenti;
- coefficienti di rigidità, smorzamento e attrito, ecc.

Pur avendo modellato un meccanismo di tipo convenzionale, il movimento alle rispettive catene a rulli è stato trasmesso da due ruote motrici. La difficoltà del modello è stata quindi di simulare il comportamento dinamico delle catene in presenza di così tanti corpi, giunti ed elementi di forza, e di definire i relativi parametri caratteristici. Inoltre, dato il numero così elevato di equazioni da risolvere, il tempo necessario avrebbe potuto aumentare notevolmente.

SIMPACT possiede un modulo specifico di dinamica della catena, detto SIMPACK Chain, che descriviamo sinteticamente.

Questo modulo permette di creare catene in 2D composte da maglie di catena (maglie interne ed esterne), ruote per catene (una di esse deve essere la ruota conduttrice) e guide per catene.

Per progettare una scala mobile convenzionale, si deve tenere conto dei diversi tipi di contatto che si verificano tra i diversi corpi, secondo la loro posizione relativa.

After this, the model parameter values have to be defined:

- mass, inertia moments and centre of gravity positions;
- assembly points between adjacent elements;
- stiffness, damping and friction coefficients, etc.

Although, we have modelled a conventional mechanism, the motion is transmitted from two driving wheels to their respective roller chains.

So, the difficulty of the model is to simulate the chains' dynamic behaviour because there are a lot of bodies, joints, force elements, and their characteristic parameters, to be defined.

On the other hand, if the number of equations to be solved is so much larger, the time required could rise dramatically.

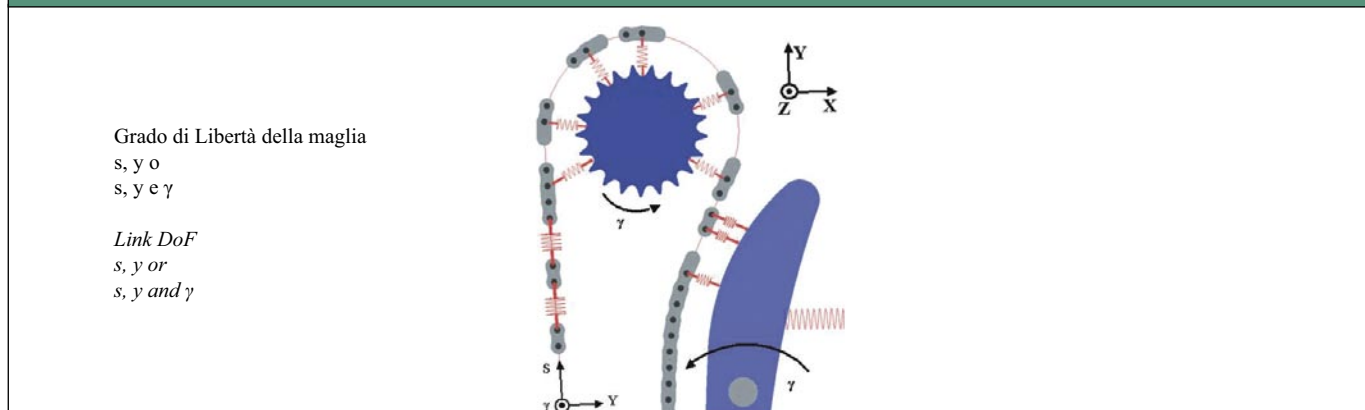
SIMPACT has a specific module of chain dynamics, called SIMPACK Chain, which will be described briefly.

This module allows creating 2D chains which are composed of chain links (inner and outer links), chain wheels (one of them must be the leading wheel) and chain guides.

In order to design a conventional escalator, the different types of contact which occur between the different bodies depending on their relative position have to be taken into account.



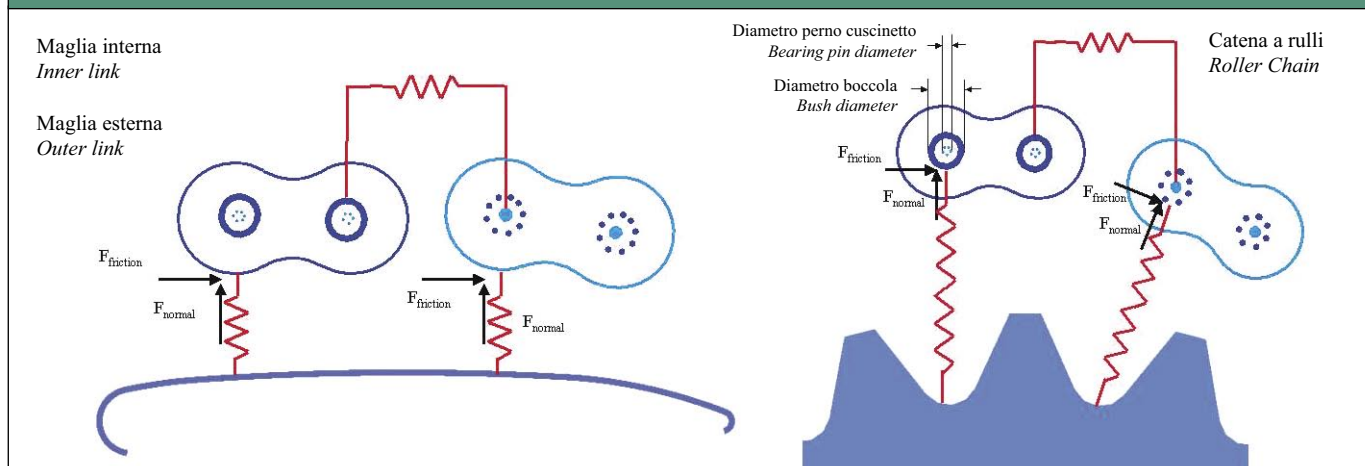
Figura 3 - Forze di contatto tra maglie della catena e ruote e guide, gradi di libertà e sistema coordinato  
Figure 3 - Contact forces between chain links and wheels and guides, degrees of freedom and the coordinate system



SIMPACK Chain modella il contatto tra la guida e le maglie con forze d'attrito e normali tra i corpi a contatto. In questo tipo di contatto, qualunque singola maglia è modellata utilizzando gli stessi parametri di contatto.

SIMPACK Chain models the contact between the guide and links with frictional and normal forces between the contacting bodies. In this case of contact, any individual link is modelled using the same contact parameters.

Figura 4 - Forze di contatto della guida-maglia catena  
Figure 4 - Guide-chain link contacting forces

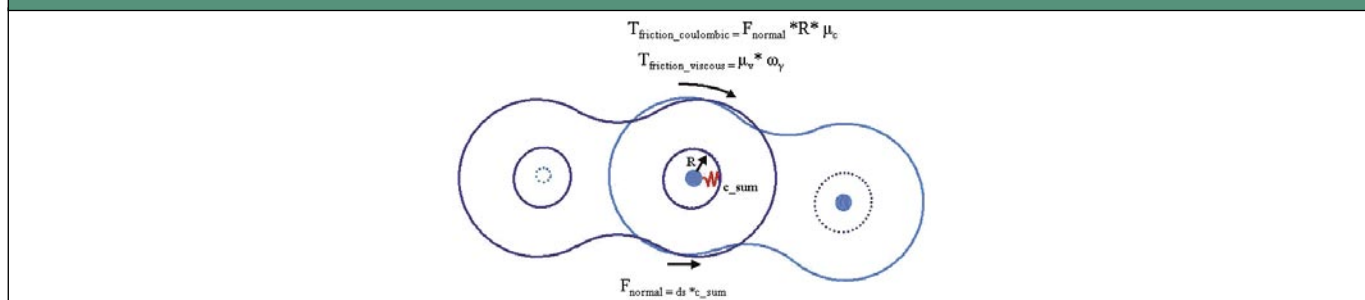


Le forze di contatto tra ciascuna maglia della catena e la maglia adiacente sono rappresentate nella figura seguente. Le maglie interne ed esterne possono, comunque, essere definite con diversi parametri di contatto e geometrici. Sono anche presi in considerazione i contatti d'attrito e trazione tra maglie adiacenti della catena. L'attrito tra maglie è dovuto ad una rotazione ed è quindi applicato come una coppia, laddove la rigidità è traslazionale e quindi è generata come una forza (Figura 5).

The contact forces between each chain link and the adjacent link are represented in the next figure. The inner and outer links can, however, be defined with different contact and geometry parameters. Frictional and tensile contacts between adjoining chain links are also considered.

The friction between links is due to a rotation and is therefore applied as a torque, whereby stiffness is translational and therefore generated as a force (Figure 5).

Figura 5 - Forze di contatto maglie  
Figure 5 - Link contacting forces



Prima di definire i parametri che caratterizzano i diversi tipi di forze, si devono determinare tutte le geometrie del corpo, tranne che per la catena.

Per generare una catena, alcuni parametri devono essere definiti in modo parcellare. Questi parametri sono ubicati in varie template.

A scopo illustrativo, la Figura 6 ne mostra una.

Come prima descritto, la definizione della catena

deve essere altamente precisa, se così non fosse, SIMPACK non genererebbe la catena.

Una volta spiegato come funzionano il software SIMPACK ed il modulo SIMPACK Chain, descriveremo alcuni modelli che sono stati sviluppati fino ad ora. Abbiamo sviluppato modelli sia totali che parziali, secondo lo scopo. Inoltre, ci sono catene modellate sia con che senza il modulo SIMPACK Chain.

### 2.1.2 Modello totale

A seguire, descriveremo un modello di una scala mobile. Questo modello è stato sviluppato utilizzando il software di base SIMPACK ed il modulo SIMPACK Chain. I parametri del modello sono stati sintetizzati nella tabella seguente.

**Tabella 1 - Sintesi dei parametri di questo modello**

Numero di maglie	81
Passo della maglia della catena (m)	0,1667
Rigidità di contatto guida-ruolo (N/m)	1,0 E6
Smorzamento di contatto guida-ruolo (Ns/m)	500
Velocità lineare (m/s)	0,5
Diametro della radice dell'ingranaggio (m)	0,8
Diametro della testa dell'ingranaggio (m)	0,963
Precarico nella catena (N)	3.000

Il percorso che le maglie della catena devono seguire è guidato utilizzando alcune guide di contatto e minimo due ruote dentate.

Uno di questi elementi deve lavorare come tenditore.

Come mostra la Figura 7, la geometria della guida può essere ottenuta con questo modulo SIMPACK.

**Figura 6 - Esempio di un template usato per definire le maglie esterne della catena**  
**Figure 6 - Example of a template used to define outer chain links**

Type of Link	Outer
CoG Position in x [m]	0
Mass [kg]	0.0042
Inertia about ga [kgm <sup>2</sup> ]	2.8e-007
Elongation [%]	0
Bearing Pin Diameter, d2 [m]	0.00315
*Width over Bearing Pins, b4	0.0235
Max Plate Depth, h3 [m]	0.0076
*Min Plate Depth, h5 [m]	0.0074
*Width between Plates, b3 [m]	0.0086
*Width over Link, b0 [m]	0.0115
*3D Plate Drw Tolerance [m]	0.0002
*3D Pin Drw Tolerance [m]	0.0001
*3D Plate Colour	10
*3D Pin Colour	11

Previously, before defining the parameters that characterize different force types, all body geometries have to be determined, except for the chain.

To generate a chain, some parameters have to be defined in a piecemeal manner.

These parameters are located in several templates.

By way of illustration, the Figure 6 shows one of them.

As previously described, the chain definition must be

highly accurate, if not, SIMPACK will not generate the chain.

Once we have explained how the SIMPACK software and SIMPACK Chain module work, we will describe some models which have been developed up to now. We have developed both full and partial models depending on their purposes. In addition, there are chains modelled both by and without the SIMPACK Chain module.

### 2.1.2 Full model

Subsequently, we will describe one model of an escalator. This model has been developed using SIMPACK basic software and the SIMPACK Chain module. The parameters of the model have been summarized in the following table.

**Table 1 - Summary of the parameters of this model**

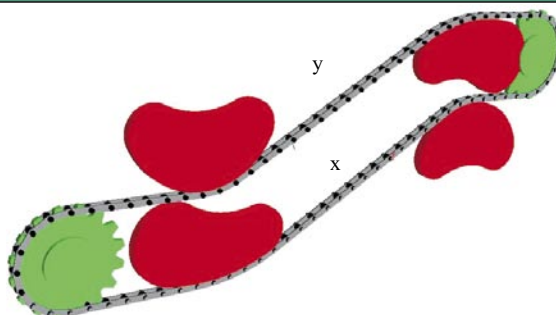
Number of links	81
Chain link pitch (m)	0.1667
Guide-Roller contact stiffness (N/m)	1.0 E6
Guide-Roller contact damping (Ns/m)	500
Linear velocity (m/s)	0.5
Gear root diameter (m)	0.8
Gear tip diameter (m)	0.963
Pre-load in the chain (N)	3,000

The path that the chain links have to follow is guided using some contact guides and at least two gear wheels.

One of these elements has to work as a tensioner.

As the Figure 7 shows, the guide geometry can be obtained by this SIMPACK module.

**Figura 7 - Come guidare la catena a rulli**  
**Figure 7 - How to guide the roller chain**



Tuttavia, le forze di contatto tra ciascun rullo e le guide reali hanno dovuto essere modellate utilizzando il software di base SIMPACK, perché se così non fosse stato, la forza di reazione non avrebbe potuto essere calcolata lungo le intere guide. Sono state quindi progettate due guide, una per stabilire il contatto con i rulli interni, e l'altra per simulare il contatto con i rulli esterni. Inoltre, sono state definite le forze di contatto tra ciascun rullo e la rispettiva guida utilizzando marcatori mobili. I gradini sono stati aggiunti al modello utilizzando un giunto cilindrico tra sé stesso ed il relativo rullo esterno corrispondente.

La Figura 8 mostra un modello completo di una scala mobile.

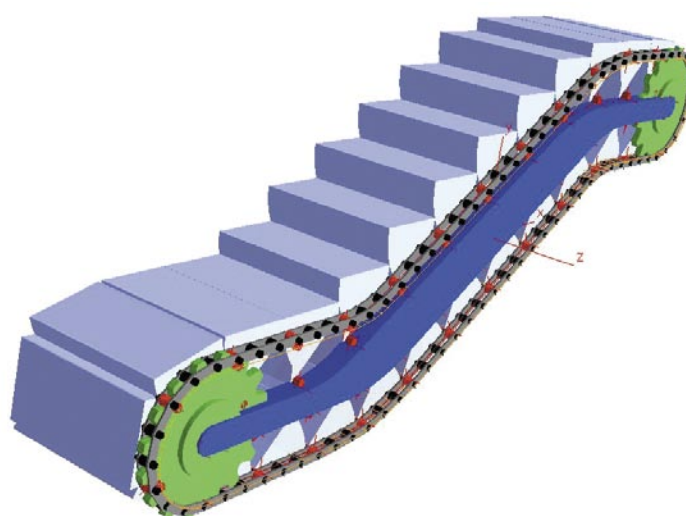
*Nevertheless, contact forces between each roller and the real guides had to be modelled using SIMPACK basic software, because if not, the reaction force could not be calculated along the full guides.*

*Thus, two guides were designed, one to establish the contact with the inner rollers, and the other to simulate the contact with the outer rollers. In addition, contact forces were defined between each roller and its respective guide using mobile markers.*

*The steps were added to the model using a cylindrical joint between itself and its corresponding outer roller. The Figure 8 shows one complete model of an escalator.*

Figura 8 - Modello di scala mobile che utilizza il software di base SIMPACK ed il modulo SIMPACK Chain

Figure 8 - Escalator Model using SIMPACK basic software and SIMPACK Chain module



## 2.2 Modello cinematico

Il meccanismo di base di una scala mobile (senza corrimano) è stato modellato utilizzando CATIA V5. Per simulare il comportamento cinematico generale è stato usato un modulo DMU Kinematics. Pur avendo potuto sviluppare modelli solo in SIMPACK, abbiamo usato entrambi i programmi perché ciò ci ha permesso di confrontare il comportamento dinamico e cinematico tra modelli simili. Tra le maglie e tra ciascuna maglia ed il rullo corrispondente sono stati definiti dei giunti articolati, usando un asse comune ed un offset costante. Le guide sono state fissate con un giunto rigido e tra ciascun rullo e la guida corrispondente è stato posto un giunto curvo per rullo.

I vincoli e le leggi del movimento sono stati definiti per simulare diversi tipi di trazione. Il modello è stato sensorizzato per misurare le variabili cinematiche e le distanze relative tra corpi diversi. La seguente figura mostra gli elementi di base di un modello sviluppato con software CATIA V5. Il CATIA V5 è più flessibile del SIMPACK, nel senso che le modifiche nelle geometrie sono più veloci da fare e da sottoporre a prova. Sono stati quindi sottoposti a prova diversi raggi di guida, diametri di rullo, passi di maglie di catena e geometrie di guide e gradini.

## 2.2 Kinematic model

*The basic mechanism of an escalator (without handrail) has been modelled using CATIA V5. A DMU Kinematics module has been used to simulate the overall kinematic behaviour. Although, we could have developed models only in SIMPACK, we have used both programs because it lets us compare the dynamic and kinematic behaviour between similar models. Revolute joints have been defined between links and between each link and its corresponding roller, using a common axis and a constant offset. The guides have been fixed by a rigid joint and between each roller and the corresponding guide there is a roller curve joint.*

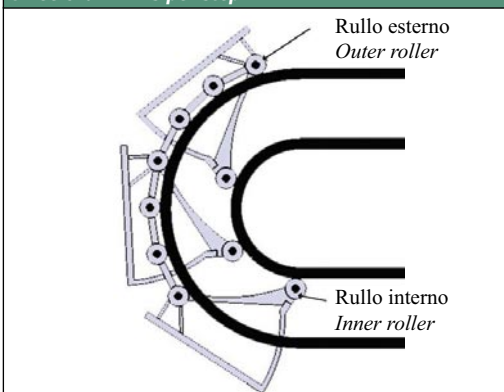
*The commands and laws of motion have been defined to simulate different traction types.*

*The model has been sensorized in order to measure the kinematic variables and relative distances between different bodies. The next figure shows the basic elements of one model developed in CATIA V5 software.*

*CATIA V5 is more flexible than SIMPACK in such a way that changes in the geometries are quicker to make and to test. So, different guide radiuses, roller diameters, chain link pitches and guide and step geometries have been tested.*

Figura 9 - Elementi di base nel modello del CATIA V5 con tre maglie di catena per gradino

Figure 9 - Basic elements in the CATIA V5 model with three chain links per step



### 2.3 Altri sviluppi

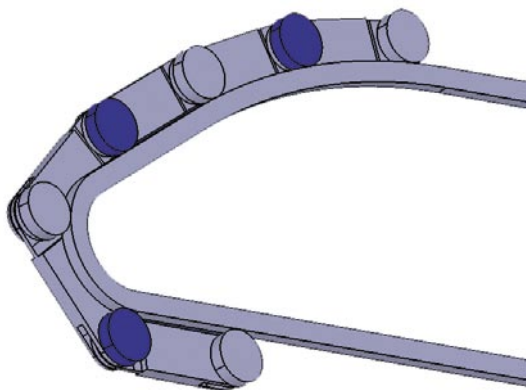
Oltre ad aver sviluppato alcuni modelli basati su scale mobili tradizionali, per testare delle idee innovative sono stati sviluppati altri modelli. Sono quindi state sottoposte a prova delle nuove forme di guide e passi variabili di maglie di catene, come mostra la seguente figura. Una nuova forma di guida è stata progettata per evitare il contatto tra gradini adiacenti con due maglie di catena per gradino.

### 2.3 Other developments

*Apart from developing some models based on traditional escalators, other models have been developed to test inventive ideas. So, new guide shapes and variable chain link pitches have been tested, as the following figure shows.*

*A new guide shape has been designed in order to avoid contact between adjoining steps with two chain links per step.*

**Figura 10 - Un esempio di forma di guida non convenzionale con una catena formata da due maglie per gradino**  
**Figure 10 - An example of non-conventional guide shape with a chain formed by two links per step**



Un'altra linea di ricerca è l'effetto di poligonazione ubicato in qualunque trasmissione della catena.

L'effetto di poligonazione rende la velocità lineare della ruota variabile.

Questo è un effetto non desiderato dovuto alla differenza tra la lunghezza d'arco dove si trova ciascuna maglia della catena ed il passo della maglia della catena. Tali differenze aumentano con la lunghezza del passo della maglia della catena (Calero et Carta 1999), e diminuiscono se il raggio della ruota aumenta. L'equazione (1) mostra la variazione della velocità lineare con l'angolo percorso:

$$v = \frac{L \cdot \cos(\varphi) \cdot \omega}{2 \cdot \sin(\alpha)} = R \cdot \cos(\varphi) \cdot \omega \quad \varphi \in [0, 2\alpha] \quad (1)$$

Dove L è il passo della maglia della catena,  $2\alpha$  è l'angolo tra due rulli adiacenti ed il centro della ruota,  $\varphi$  è un angolo variabile definito tra la linea verticale e la linea tra il rullo che si sta studiando ed il centro della ruota, R è il raggio della ruota, e  $\omega$  è la velocità di rotazione della ruota.

Questi parametri sono mostrati nella Figura 11.

Questo effetto giustifica anche la ricerca di nuove forme di guide se il passo della maglia della catena aumenta.

Ci sono alcuni brevetti sulle curve di guide senza impulso.

Con l'ausilio di MATLAB è stato programmato il calcolo statico, cinematico e geometrico.

I risultati ottenuti sono stati usati come input per l'altro software e per essere confrontati con questi risultati informatici.

*Another research line is the polygonization effect located in any chain transmission.*

*The polygonization effect makes the linear velocity of the wheel variable.*

*This is an undesirable effect that is due to the difference between the arc length where each chain link is located and its chain link pitch.*

*These differences increase with the length of the chain link pitch (Calero et Carta 1999), and decrease if the radius of the wheel rises. The equation (1) shows the variation of the linear velocity with the turned angle:*

$$v = \frac{L \cdot \cos(\varphi) \cdot \omega}{2 \cdot \sin(\alpha)} = R \cdot \cos(\varphi) \cdot \omega \quad \varphi \in [0, 2\alpha] \quad (1)$$

*If L is the chain link pitch,  $2\alpha$  is the angle between two adjacent rollers and the centre of the wheel,  $\varphi$  is a variable angle defined between the vertical line and the line between the roller that is being studied and the centre of the wheel.*

*These parameters are shown in the Figure 11.*

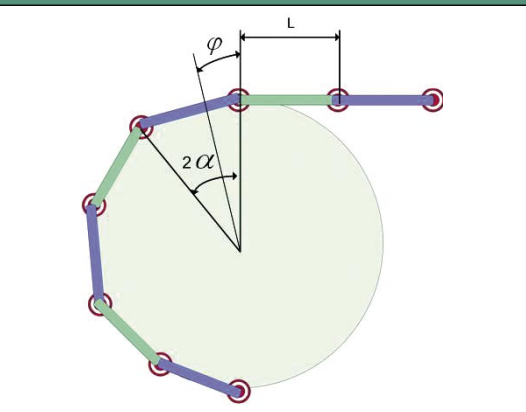
*This effect also justifies the search for new guide shapes if chain link pitch rises.*

*There are some patents about pulse-free guide curves.*

*Static, kinematic and geometric calculus with MATLAB has been programmed.*

*The results obtained have been used as input for the other software and to compare with these software results.*

**Figura 11 - Parametri per definire l'effetto di poligonazione in una catena a rulli**  
**Figure 11 - Parameters to define the polygonization effect in a roller chain**





### 3 RISULTATI

#### 3.1 Risultati dinamici

I risultati dinamici sono stati ottenuti dal post-processore SIMPACK. Le seguenti figure rappresentano il comportamento dinamico generale di una scala mobile tradizionale progettata come indicato prima.

Le variabili dinamiche caratteristiche da misurare in un meccanismo con catene sono le forze di reazione risultanti tra ciascun rullo e la guida corrispondente, la forza di trazione che ciascuna maglia della catena sopporta nel tempo, la forza tensoriale ed il suo spostamento nel tempo, velocità, accelerazioni, posizioni, angoli, coppie, ecc. Questo documento mostra i risultati più importanti relativi alla durata delle catene. La Figura 12 mostra la forza longitudinale (di trazione) durante un ciclo.

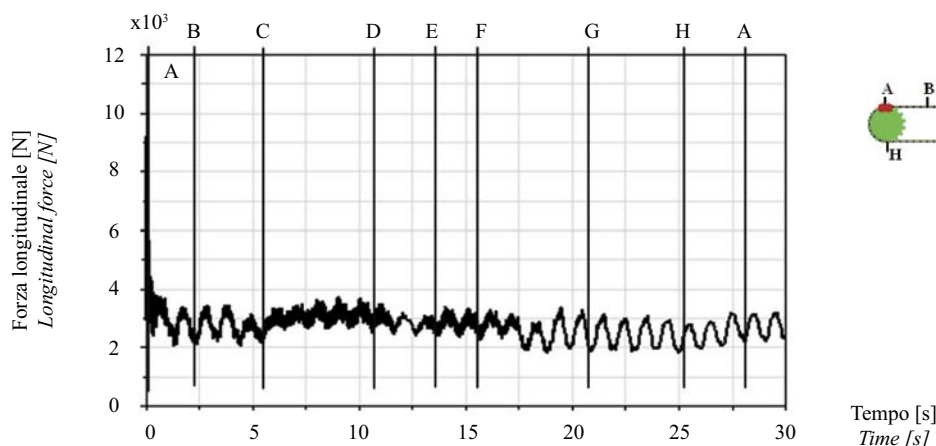
### 3 RESULTS

#### 3.1 Dynamic results

The Dynamic Results have been obtained from SIMPACK post-processor. The following figures represent the overall dynamic behaviour of a traditional escalator designed as indicated previously.

The characteristic dynamic variables to measure in a mechanism with chains are the resulting reaction forces between each roller and its corresponding guide, the tensile force that each chain link withstands over time, the tensor force and its displacement over time, velocities, accelerations, positions, angles, torques, etc. This paper shows the most important results related to the life of the chains. The Figure 12 shows the longitudinal (tensile) force during one cycle.

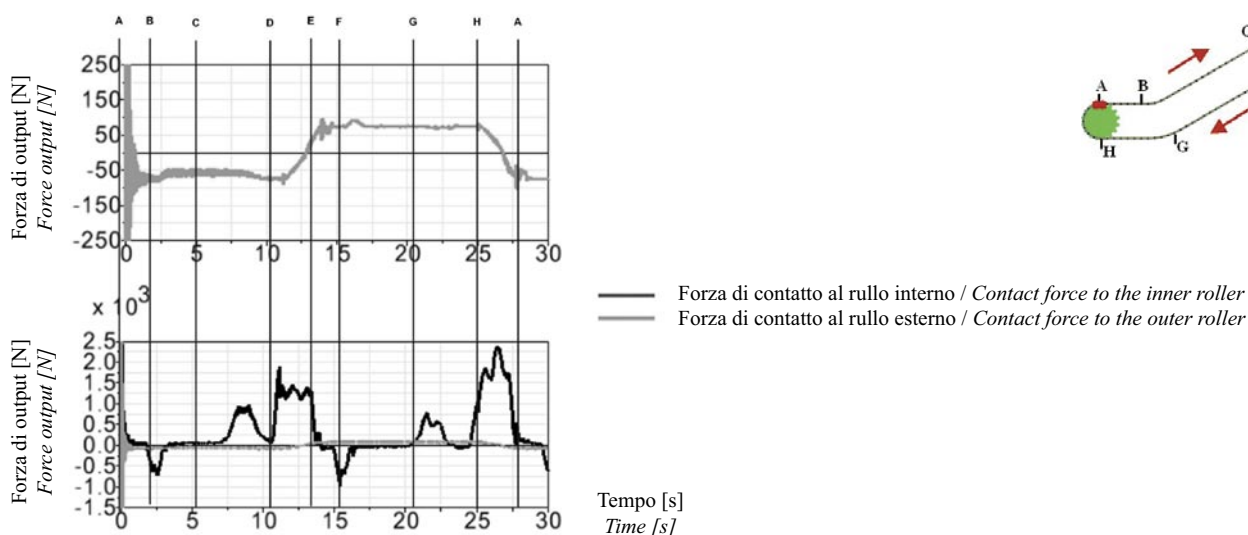
Figura 12 - Forza longitudinale di una maglia di catena  
Figure 12 - Longitudinal force of one chain link



La Figura 13 illustra le forze di contatto tra ciascun rullo e la guida corrispondente. La figura qui sopra mostra solo la forza di contatto al rullo interno e qui sotto sono riportate le reazioni sui rulli sia interni che esterni.

The Figure 13 below illustrates the contact forces between each roller and its corresponding guide. This figure above shows only the contact force to the inner roller and, below, the reactions to both inner and outer rollers.

Figura 13 - Forze di contatto del rullo sia interno che esterno  
Figure 13 - Contact forces of both inner and outer roller



### 3.2 Risultati cinematici

I risultati cinematici sono stati ottenuti dal software di simulazione CATIA V5 utilizzando diversi vincoli e leggi per definire il moto. Sono stati mostrati due casi rappresentativi, sebbene CITEF ne abbia sviluppati altri.

La trazione lineare è stata simulata imponendo una velocità lineare costante di un rullo esterno prima che la guida rotei.

Il grafico (Figura 14) mostra una simulazione di circa 3,25 secondi, ed il rullo che viene da una parte della guida orizzontale va alla successiva zona orizzontale.

### 3.2 Kinematic results

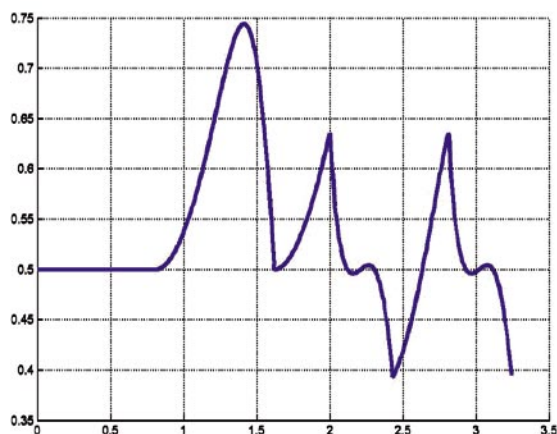
The kinematic results have been obtained from CATIA V5 simulation software using different commands and laws to define the motion. Two representative cases have been shown, although CITEF has developed a few more.

Linear traction has been simulated imposing a constant linear velocity of one outer roller before the guide twirls.

The graph (Figure 14) shows a simulation of around 3.25 seconds, and the roller that comes from a horizontal guide part goes to the next horizontal zone.

Figura 14 - Velocità lineare

Figure 14 - Li

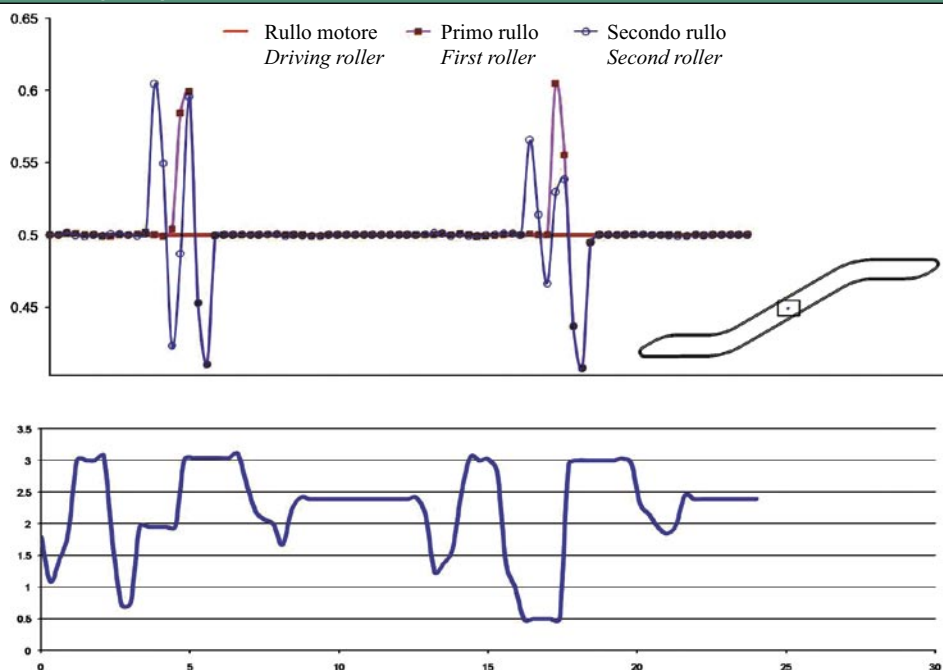


Se su un rullo è imposta una velocità lineare costante (rullo motore), i successivi due rulli adiacenti hanno la velocità lineare mostrata nella figura qui sotto. Inoltre, questa figura mostra la distanza minima nel tempo tra due gradini adiacenti. Questa simulazione è stata fatta per la forma di guida mostrata nella Figura 15.

If constant linear velocity is imposed on a roller (driving roller), the next two adjacent rollers have a linear velocity that is shown in the figure below. In addition, this figure displays the minimum distance between two adjacent steps over time. This simulation has been made for the guide shape shown in Figure 15.

Figura 15 - Velocità lineare (m/s) di rulli mossi da un rullo seguendo una nuova forma di guida che usa due maglie per gradino (sopra), distanza minima (mm.) tra rullo motore e primo rullo (sotto)

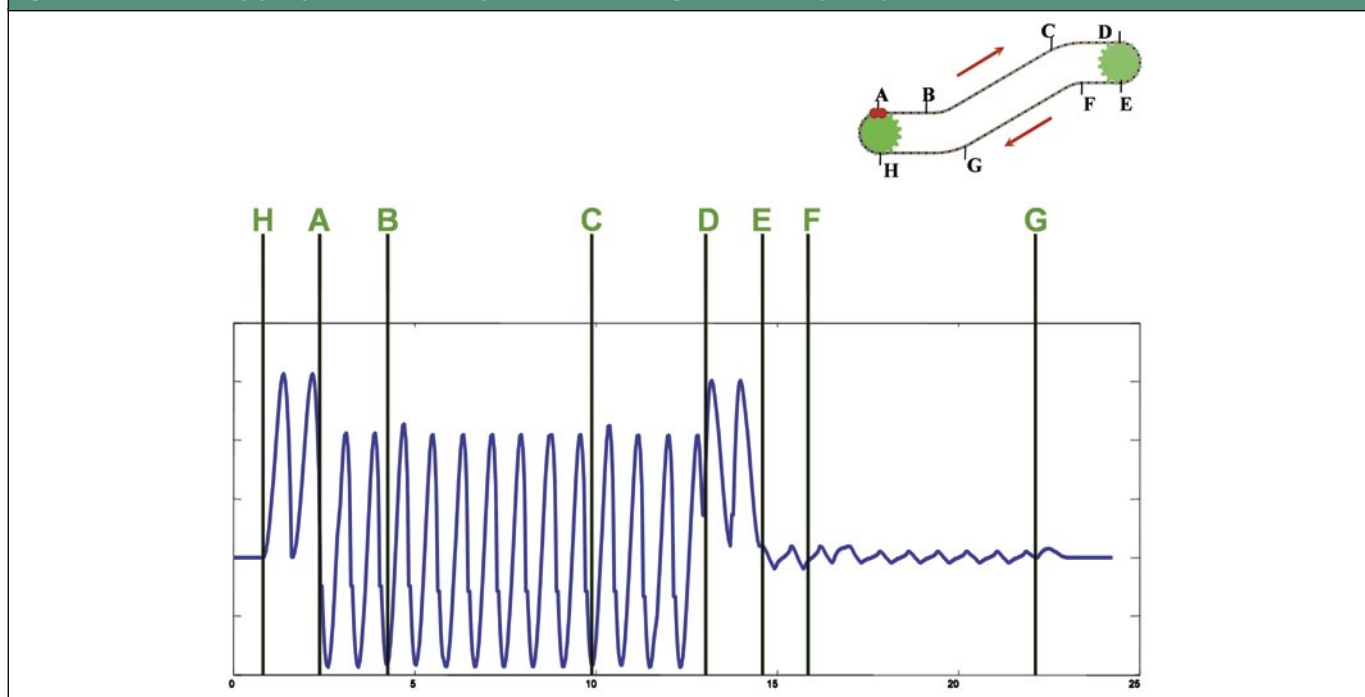
Figure 15 - Linear velocity (m/s) of rollers moved by one roller following a new guide shape using two links per step (above), minimum distance (mm.) between driving and first rollers (below)



Nel linguaggio di programmazione MATLAB sono stati sviluppati diversi programmi. Ad esempio, un risultato cinematico è mostrato nella Figura 16.

Several programs have been developed in MATLAB programming language. As an example, one kinematic result is shown in the Figure 16.

Figura 16 - Velocità lineare (m/s) di rulli mossi da trazione lineare, usando una maglia di catena per gradino  
Figure 16 - Linear velocity (m/s) of rollers moved by linear traction, using one chain link per step



#### 4. DISCUSSIONE

Il comportamento meccanico della scala mobile è stato studiato con i tre tipi di software sviluppati, vale a dire SIMPACK, CATIA e MATLAB. Ciascun modello fornisce risultati che mostrano diverse caratteristiche del meccanismo. Tutte le caratteristiche sono coerenti con le altre.

Le analogie trovate tra i tre strumenti utilizzati forniscono una maggiore certezza sui risultati ottenuti. Così, le Figure 12, 14 e 16 mostrano uno schema comune tra loro, perché tutte queste caratteristiche definiscono fenomeni longitudinali: la forza di trazione di una maglia di catena e la velocità lineare dei rulli. È chiaro che la frequenza principale concorre con il passo della maglia della catena. Le cifre ottenute dal software SIMPACK fluttuano in frequenze più alte. Questo fenomeno è dovuto al fatto che SIMPACK simula parametri dinamici, mentre i modelli CATIA e MATLAB sono solo cinematici o statici. I risultati SIMPACK mostrano gli effetti dinamici transitori durante i primi istanti di tempo. I componenti permanenti sono raggiunti velocemente.

Le Figure dalla 14 alla 16 mostrano che la velocità lineare massima e l'effetto di poligonazione dipendono da alcuni parametri quali il tipo di trazione, il numero di maglie della catena per gradino e il raggio della guida e la forma della guida.

Come mostra la Figura 13, la forza di reazione sopportata da ciascun rullo è molto diversa. Il rullo interno sopporta una forza normale minore rispetto a quello esterno. Questo è un risultato atteso perché i rulli interni non sono connessi come una catena. Ci sono due diverse cause della forza normale:

- le forze di gravità dovute al peso che caricano ciascun rullo;
- l'equilibrio tra le forze di trazione sopportate dalle maglie della catena.

#### 4. DISCUSSION

Escalator mechanical behaviour has been studied by the three kinds of developed software, SIMPACK, CATIA and MATLAB. Each model supplies results that show different characteristics of the mechanism. All characteristics are coherent with the others.

Analogies found between the three tools used give a major certainty to the results obtained. So, Figures 12, 14 and 16 show a common pattern between one another, because all of these characteristics define longitudinal phenomena: the tensile force of a chain link and the linear velocity of the rollers. It is clear that main frequency concurs with chain link pitch. The figures obtained from SIMPACK software fluctuate into higher frequencies. This phenomenon is due to the fact that SIMPACK simulates dynamic parameters, while CATIA and MATLAB models are only kinematic or static. SIMPACK results show the transitory dynamic effects during the first instants of time. Permanent components are reached quickly.

Figures 14 to 16 show that the maximum linear velocity and polygonization effect depend on certain parameters such as traction type, number of chain links per step and guide radius and guide shape.

As Figure 13 shows, the reaction force withstood by each roller is very different. The inner roller withstands a lower normal force than the outer one. This is an expected result because the inner rollers are not connected as a chain. There are two different causes of normal force:

- gravity forces due to weight which load each roller;
- equilibrium between the tensile forces supported by chain links.

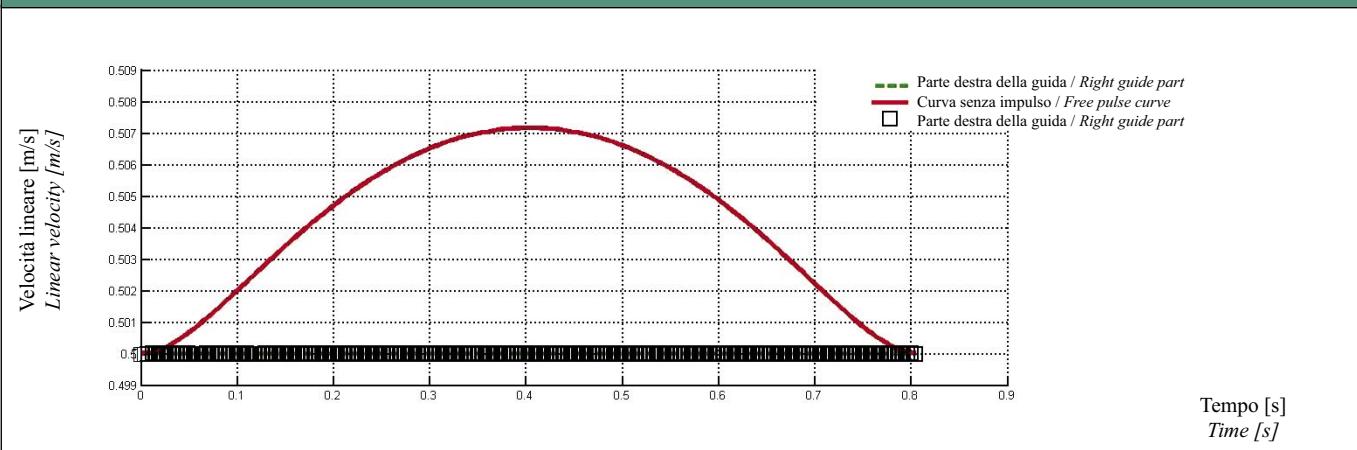
La prima causa riguarda sia il rullo interno che esterno, ma la seconda riguarda solo il rullo esterno. Questo risultato implica che i rulli esterni sono molto più critici dei rulli interni. L'effetto di poligonizzazione causa modifiche di velocità che si propagano lungo la scala mobile. Questo effetto riduce la durata della catena e produce una riduzione della comodità per l'utente. Inoltre, il periodo d'intervallo di manutenzione potrebbe essere ridotto, e potrebbero apparire dei problemi acustici. CITEF ha sviluppato alcuni modelli con diverse curve prive d'impulso. Le curve prive d'impulso garantiscono una velocità lineare costante nelle giuste parti della guida, ed esistono altre curve che possono minimizzare tali effetti. La Figura 16 illustra la differenza tra l'uso delle guide senza impulso o circolari (Figura 14).

*The first cause affects both the inner and outer roller, but the second one only affects the outer roller. This result implies that outer rollers are much more critical than inner rollers.*

*The polygonization effect causes changes of velocity which propagate along the escalator.*

*This effect reduces chain life and produces a decrease in passenger comfort. In addition, maintenance period could be reduced, and acoustic problems could appear. CITEF has developed some models with different pulse-free curves. Pulse-free curves guarantee a constant linear velocity in the right parts of the guide, and there are other curves which can minimize these effects. Figure 16 illustrates the difference between using pulse-free or circular guides (Figure 14).*

**Figura 17 - Velocità lineare (m/s) di rulli mossi da trazione lineare, usando una maglia di catena per gradino e una guida senza impulso**  
**Figure 17 - Linear velocity (m/s) of rollers moved by linear traction, using one chain link per step and free-pulse guide**



## 5. CONCLUSIONI

CITEF ha sviluppato un gruppo di strumenti che permettono di studiare la dinamica e la cinematica delle scale mobili. Con questi strumenti sono stati sottoposti a prova alcuni aspetti delle scale mobili, come le lunghezze delle maglie della catena e le geometrie delle guide, molto importanti nei risultati dinamici e cinematici. Questi risultati indicano alcuni modi per migliorare il comportamento della scala mobile. Gli strumenti saranno completamente convalidati con i dati sperimentali che si devono ottenere da un prototipo reale. CITEF sarà poi in grado di provare le proprie innovazioni utilizzando tali strumenti.

## 6. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

**Cabanellas, J.M<sup>a</sup>, Cano, J.D., Suárez, B., Chover, J.A., Félez, J. (2008).** Mejora de un diseño de más de 100 años. Nuevos conceptos en escaleras mecánicas. Anales de Ingeniería Mecánica, Revista dell'Asociación Española de Ingeniería Mecánica, Vol.1, pp. 233-239.

**Strakosch, G.R. (1983).** Vertical Transportation: Elevators and Escalators, John Wiley & Sons (Ed.), pp. 194-220.

**Kwon, Y.S. (1998).** Dynamic Analysis Step-by-Step. Mechanical Engineering-CIME.

**Kwon, Y.S., Scott, G., Park, N. (2005).** A Multibody Dynamic Model for Escalator Handrail Systems and its Application to

## 5. CONCLUSION

*CITEF has developed a set of tools that allow studying the dynamics and kinematics of escalators.*

*With these tools some aspects of escalators have been tested, like chain link lengths, and guide geometries, which are very important in dynamic and kinematic results.*

*These results indicate some ways of improving escalator behaviour. The tools will be completely validated with the experimental data that is to be obtained from a real prototype.*

*CITEF will then be able to test its innovations using these tools.*

## 6. REFERENCES

**Cabanellas, J.M<sup>a</sup>, Cano, J.D., Suárez, B., Chover, J.A., Félez, J. (2008).** Mejora de un diseño de más de 100 años. Nuevos conceptos en escaleras mecánicas. Anales de Ingeniería Mecánica, Revista de la Asociación Española de Ingeniería Mecánica, Vol.1, pp. 233-239.

**Strakosch, G.R. (1983).** Vertical Transportation: Elevators and Escalators, John Wiley & Sons (Ed.), pp. 194-220.

**Kwon, Y.S. (1998).** Dynamic Analysis Step-by-Step. Mechanical Engineering-CIME.

**Kwon, Y.S., Scott, G., Park, N. (2005).** A Multibody Dynamic Model for Escalator Handrail Systems and its Application to